



## CIENCIAS AGRARIAS Y DE LA PESCA

### Artículo original de investigación

#### Aportes al conocimiento en la biofertilización del garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en Cuba

Marisel Ortega García <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8076-2675>

Tomás Shagarovsky Scull <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4563-1490>

Bernardo Dibut Álvarez <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5537-8591>

Yoania Ríos Rocafull <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1774-0868>

María Caridad Nápoles García <sup>2,3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1413-1717>

Lily X Zelaya Molina <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3474-3289>

Ismael Fernando Chávez Díaz <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2182-8646>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical Alejandro de Humboldt. La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Mayabeque, Cuba

<sup>3</sup> Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, Cuba

<sup>4</sup> Centro Nacional de Recursos Genéticos. Tepatitlán de Morelos, México

\*Autor para la correspondencia: [mariselortega9@gmail.com](mailto:mariselortega9@gmail.com)

#### RESUMEN

##### Editor

Lisset González Navarro  
Academia de Ciencias de Cuba.  
La Habana, Cuba

##### Traductor

Darwin A. Arduengo García  
Academia de Ciencias de Cuba.  
La Habana, Cuba

**Introducción:** El garbanzo se destaca por ser una especie de interés para el consumo humano y animal, con un alto valor nutritivo. **Objetivos:** Proponer una tecnología de biofertilización con cultivares de garbanzo y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. **Métodos:** Se realizó un estudio a cultivares nacionales de garbanzo para seleccionar el de mayor capacidad nodulante y productiva. Se diseñó a partir de plantas sanas de garbanzo una prospección para obtener aislados de rizobios, teniendo en cuenta su capacidad de nodulación y sus atributos como promotor del crecimiento vegetal. Se utilizó, además, una cepa de *Bacillus* sp. caracterizada por su efecto como solubilizador de nutrientes. Se evaluó la aplicación de la cepa de rizobio seleccionada ante diferentes dosis de nitrógeno y su combinación con *Bacillus* frente a diferentes niveles de P sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo y la calidad de los granos obtenidos. **Resultados:** Se demostró la superioridad del cultivar Nacional-29, en cuanto a su capacidad de nodulación y variables de crecimiento y rendimiento, con respecto a otros 4 cultivares. El aislado R3 de *Rhizobium* pusense expresó capacidad para fijar nitrógeno, solubilizar fosfato de calcio, producir compuestos indólicos e inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos. La biofertilización combinada de *Rhizobium* pusense R3 y *Bacillus thuringiensis* B3, incrementa la nodulación, el crecimiento, los rendimientos y la calidad de los granos del garbanzo. La coinoculación permitió además ahorrar el 70 % del fertilizante nitrogenado y el 50 % del fertilizante fosfórico y potásico, con un impacto económico positivo en diferentes localidades del país. **Conclusiones:** Se propone una nueva tecnología de biofertilización con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y un cultivar adaptado a las condiciones de Cuba para incrementar los rendimientos del cultivo del garbanzo.

**Palabras clave:** leguminosa; coinoculación; fertilización

## Contributions to knowledge in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) biofertilization in Cuba

### ABSTRACT

**Introduction:** Chickpea stands out as a species of interest for both human and animal consumption, with high nutritional value. **Objectives:** To propose a biofertilization technology with chickpea cultivars and plant growth-promoting rhizobacteria. **Methods:** It was conducted a study with national chickpea cultivars to select the one with the highest nodulating and productive capacity. From healthy chickpea plants, it was designed a prospecting approach to obtain rhizobial isolates, considering their nodulation capacity and attributes as plant growth promoters. In addition, it was used a strain of *Bacillus* sp., characterized by its nutrient-solubilizing effect. The application of the selected rhizobial strain under different nitrogen doses and its combination with *Bacillus* at different P levels was evaluated in terms of crop growth, yield, and the quality of the grains obtained. **Results:** The Nacional-29 cultivar was demonstrated to be superior regarding nodulation capacity, growth variables, and yield compared to four other cultivars. The R3 isolate of *Rhizobium pusense* showed the ability to fix nitrogen, solubilize calcium phosphate, produce indolic compounds, and inhibit the growth of phytopathogenic fungi. The combined biofertilization of *Rhizobium pusense* R3 and *Bacillus thuringiensis* B3 increased nodulation, crop growth, yields, and chickpea seed quality. Co-inoculation also allowed saving 70% of nitrogen fertilizer and 50% of phosphate and potassium fertilizers, with a positive economic impact in different regions of the country. **Conclusions:** A new biofertilization technology is proposed, using plant growth-promoting rhizobacteria and a cultivar adapted to Cuban conditions, to increase chickpea crop yields.

**Keywords:** legume; co-inoculation; fertilization.

## INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son plantas que sobresalen por su elevado contenido de proteínas, aminoácidos esenciales y por su aporte en nitrógeno a los suelos.<sup>(1)</sup> Dentro de ellas el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) se destaca por ser una especie de interés para el consumo humano y animal, con un contenido proteíco de alrededor del 20 %, elevada cantidad de carbohidratos (40 %), alta digestibilidad, es rico en ácidos grasos insaturados y posee pocos elementos antinutritivos.<sup>(2)</sup> Además, a su consumo se le confiere un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades crónicas como las cardiovasculares, diabetes, algunos tipos de cáncer y problemas digestivos.<sup>(3)</sup>

En Cuba ante la necesidad de diversificar especies de importancia agrícola, en especial de granos, y de disminuir los costos de producción, el garbanzo cobra cada vez mayor importancia, no solo por su valor nutritivo y amplia aceptación popular, sino porque posee otros atributos favorables como la tolerancia a la sequía y a las altas temperaturas.<sup>(4)</sup> Ello lo convierte en un cultivo de interés como parte de la estrategia para mitigar los efectos del cambio climático en la producción

de alimentos y por su contribución a la soberanía alimentaria en el país. En el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical Alejandro de Humboldt (INIFAT) se han estudiado en los últimos 25 años más de 80 cultivares de garbanzo de diferentes orígenes, entre los que destaca el cultivar Nacional-29 por su adaptabilidad a las condiciones de Cuba.<sup>(5)</sup> Sin embargo, sus rendimientos en áreas de producción aún no son los deseados, con promedios de  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ .

Como leguminosa el garbanzo se asocia de forma natural a bacterias del grupo de los rizobios, que pueden suministrarle entre el 60 % y el 80 % del nitrógeno que requiere, a partir de la reducción del dinitrógeno atmosférico.<sup>(6)</sup> La implementación de prácticas que limiten la aplicación de insumos sintéticos, como la biofertilización, se convierte en una alternativa viable e importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible.<sup>(7)</sup> Así la búsqueda de microorganismos eficientes para la elaboración de biofertilizantes como alternativa nutricional para reducir las aplicaciones de fertilizantes minerales, resulta clave para lograr estos propósitos. La aplicación combinada de rizobacterias, dotadas de funciones es-

pecializadas, aumenta la estimulación encontrada en la inoculación simple, especialmente en condiciones ambientales adversas.<sup>(8)</sup> Esta investigación tuvo como objetivo proponer una tecnología de biofertilización para cultivares de garbanzo con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, que permita reducir la fertilización mineral e incrementar los rendimientos del cultivo y la calidad de los granos, en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

## MÉTODOS

### Selección de cultivares de garbanzo por su capacidad de nodulación y productividad

Se evaluaron 5 cultivares de garbanzo procedentes del Banco Central de Germoplasma del INIFAT, recomendados por sus resultados productivos: Nacional-6, Nacional-29, Nacional-30, Nacional 5-HA y JP-94.<sup>(9)</sup> La siembra se realizó de forma manual, 2 semillas por nido a razón de 14 semillas por m<sup>2</sup>. Cada ensayo de las parcelas experimentales contó con 4 réplicas por tratamiento y un tamaño de parcela de 30 m<sup>2</sup>, con 7 surcos de 6 m de largo por 5 m de ancho para cada tratamiento y una distancia entre plantas de 0,20 m y de 0,70 m entre surcos. El riego se realizó con limitaciones, a razón de 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 3 veces durante el ciclo del cultivo: en el momento de la siembra, en la etapa R1 de inicio de floración y en la fase R3 de formación de vainas, para evaluar el comportamiento de las variedades en estudio ante estas condiciones. Las atenciones culturales fueron las recomendadas en el manual de instrucciones técnicas para el cultivo en Cuba.<sup>(9)</sup>

A los 60 días después de la siembra, se extrajeron 20 plantas por cada tratamiento, a razón de 5 plantas por parcela. Se removieron cuidadosamente, para evaluar el número y la masa seca de nódulos totales. Al final de la floración se determinó el ancho de la copa (cm) y en el momento de la cosecha, se evaluó el número de ramas primarias (u) y masa fresca de los granos (g).

### Selección por sus potencialidades como promotoras del crecimiento vegetal de bacterias procedentes de nódulos de plantas de garbanzo

En la búsqueda de aislados de rizobios adaptados a diferentes condiciones edafoclimáticas de Cuba se realizaron 63 colectas de nódulos de distintos cultivares de garbanzo y en diferentes tipos de suelos.<sup>(10)</sup> A 73 colonias de bacterias con características similares a las descritas para el grupo de los rizobios y que, además, presentaron mayor tolerancia a las condiciones de temperatura y pH, se les determinó la capacidad de fijación biológica de nitrógeno (FBN), solubilización de fosfatos en medio de cultivo NBRIP sólido, producción de

índoles y la actividad antagonista.<sup>(11)</sup> El aislado seleccionado por sus potencialidades como promotoras del crecimiento vegetal se identificó mediante amplificación de los genes 16S rRNA, *atpD*, *gltA* y *recA*.<sup>(12)</sup>

### Efecto de la biofertilización en la nodulación, el crecimiento, componentes del rendimiento y la reducción de fertilizantes, en el cultivo del garbanzo

#### Efecto de la inoculación con rizobios en la reducción de fertilizante nitrogenado

Se utilizó el inóculo obtenido de la cepa seleccionada, con una concentración de  $2,3 \times 10^{10}$  UFC mL<sup>-1</sup> y diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (100, 70, 50 y 30) kg ha<sup>-1</sup>. El microorganismo se aplicó por imbibición de las semillas durante 15 min en una mezcla de inóculo: agua, a razón de 1:10 (v:v). Para el tratamiento testigo, las semillas se embebieron en agua común durante igual periodo de tiempo.

#### Efecto de la coinoculación rizobio-*Bacillus thuringiensis* en la nodulación, crecimiento, reducción de fertilizantes, componentes del rendimiento y la calidad de los granos de garbanzo

Se evaluó la aplicación combinada de la cepa seleccionada de rizobio a una concentración de  $2,3 \times 10^{10}$  UFC mL<sup>-1</sup> y la cepa *Bacillus thuringiensis* B3 ( $2,1 \times 10^9$  UFC mL<sup>-1</sup>), perteneciente a la Colección de bacterias beneficiosas del INIFAT. Esta cepa es reconocida por su potencial como solubilizador de fosfato de calcio, moviliza zinc, produce sideróforos, lipasas, y compuestos volátiles con actividad antimicrobiana que limitan la proliferación de hongos fitopatógenos.<sup>(13)</sup> También se utilizaron como tratamientos la coinoculación de ambos microorganismos con la dosis de fertilizante nitrogenado seleccionada anteriormente, diferentes dosis de fósforo (20, 40 y 60) kg ha<sup>-1</sup> y una dosis fija de potasio (40 kg ha<sup>-1</sup>), correspondiente al 50 % del recomendado en el instructivo técnico del cultivo. Se incluyó, además, un tratamiento testigo con NPK a dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> N + 80 kg ha<sup>-1</sup> P + 80 kg ha<sup>-1</sup> K.

#### Diseño experimental y procesamiento estadístico

En los experimentos cuantitativos que se realizaron en condiciones de laboratorio, como la solubilización de fosfatos, la producción de índoles y la actividad antagonista, se utilizó un diseño completamente aleatorizado. Para los experimentos que se ejecutaron en condiciones de campo se usó un diseño de bloques al azar y se empleó para el procesamiento los datos de cada

campaña. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de las varianzas, según las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Cochran, Hartley y Bartlett. Posteriormente se realizó un análisis

sis de varianza y se compararon las medias mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 5 % de probabilidad de error. En ambos casos, para graficar los resultados, se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus versión 5.0. <sup>(14)</sup>

## RESULTADOS

### Selección de cultivares de garbanzo por su capacidad de nodulación y productividad

En los experimentos de selección de cultivares de garbanzo los resultados superiores en los indicadores evaluados para ambas campañas se presentaron en el cultivar Nacional-29 (tabla 1).

### Selección por sus potencialidades como promotoras del crecimiento vegetal de bacterias procedentes de nódulos de plantas de garbanzo

A partir de las 73 colonias obtenidas de los nódulos de garbanzo prospectados en diferentes zonas del país, se seleccionaron 11 aislados que mostraron características similares a las descritas para el grupo de los rizobios y que, además, presentaron mayor tolerancia a las condiciones de temperatura y pH, para evaluar en ellos la presencia de atributos como pro-

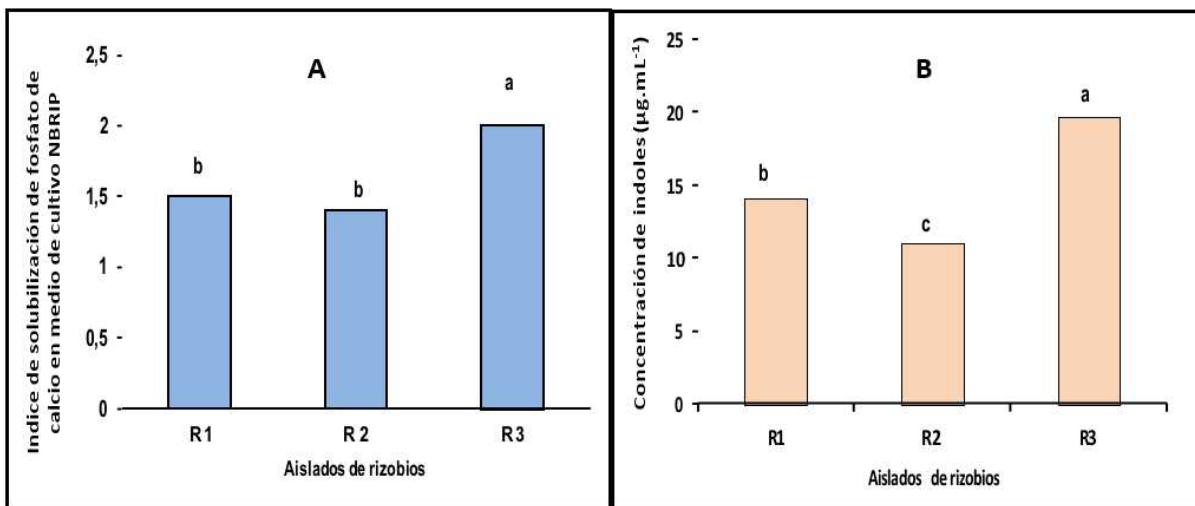
motores del crecimiento vegetal. Los 3 aislados seleccionados (R1, R2 y R3) mostraron crecimiento en el medio de cultivo para evaluar fijación de nitrógeno después de 5 días de incubación y de 4 pases sucesivos. La capacidad de solubilizar fosfato de calcio y de producir compuestos indólicos se muestra en la figura 1. Si bien los 3 aislados exhibieron una respuesta positiva, los resultados superiores correspondieron al aislado R3. El mismo, además, creció a pH entre 5,5 y 9; lo que sugiere la presencia de mecanismos de adaptación que le permiten sobrevivir en estas condiciones, aspecto que constituye una ventaja para el uso en la práctica de este microorganismo. <sup>(15)</sup>

Los aislados inhibieron entre el 30 % y 89 % el crecimiento de los hongos fitopatógenos *F. moniliforme*, *F. chlamydosporum* y *F. oxysporum* (tabla 2), lo que sugiere un posible efecto antagonista. El aislado R3 manifestó la mayor inhibición de *F. oxysporum*, lo que se considera relevante porque es una de las especies que más afecta al cultivo. La cepa R3 se identifica como perteneciente a la especie *Rhizobium pusense*, con los 4 genes estudiados con porcentajes de similitud con cepas tipo de la especie (FDAARGO3\_633; CFBP5875 e IRBG74 en Gen Bank) con rangos entre ellas de 99,48 % y 99,85 %.

**Tabla 1.** Comportamiento de la nodulación, el crecimiento y los componentes del rendimiento, de 5 cultivares de garbanzo, en suelo Ferralítico Rojo durante los períodos 2006-2007 y 2007-2008

Cultivar	No. nódulos totales (u)	M. seca nódulos totales (g)	Ancho copa (cm)	No. ramas primarias (u)	M. fresca granos (g)
<b>Campaña 2006-2007</b>					
Nacional-29	0,80 b	0,05 b	32,5 b	2,5 bc	27,7 b
	1,25 a	0,11 a	37,0 a	2,8 a	31,4 a
Nacional 5-HA	0,82 b	0,03 c	33,5 b	2,2 c	25,4 c
	0,68 b	0,03 c	32,7 b	2,4 c	24,1 d
ESx	0,68 b	0,04 bc	29,6 c	2,3 c	20,8 e
	0,074	0,004	0,340	0,123	0,336
<b>Campaña 2007-2008</b>					
Nacional-6	0,57 b	0,05 b	31,9 b	2,3 b	27,1 b
	1,21 a	0,12 a	36,4 a	2,7 a	31,2 a
Nacional-30	0,71 b	0,03 c	32,7 b	2,2 b	25,0 c
	0,60 b	0,03 c	31,8 b	2,2 b	24,2 c
JP-94	0,63 b	0,05 b	29,1 c	2,3 b	20,4 d
	0,060	0,005	0,351	0,116	0,322

Nota: letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí, según la prueba de rangos múltiples de Duncan, ( $p < 0,05$ )



**Fig. 1.** A) Solubilización de fosfato tricálcico en el medio de cultivo NBRIP sólido y Producción de compuestos indólicos ( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ); B) por posibles rizobios aislados de nódulos de plantas de garbanzo. Nota: Letras iguales no difieren significativamente entre sí, según la prueba de rangos múltiples de Duncan, ( $p < 0,05$ ), ESxA = 0,087, ESxB = 0,047,  $n = 3$ .

### Efecto de la biofertilización en la nodulación, el crecimiento, componentes del rendimiento y la reducción de fertilizantes, en el cultivo del garbanzo

Al inocular la cepa *Rhizobium pusense* R3 en el cultivar de garbanzo Nacional-29 en combinación con distintas dosis de fertilizante nitrogenado, se observó que con el empleo de la dosis más baja (30 % de urea), se alcanzaron los mejores resultados (tabla 3). La inoculación de R3 + 30 kg de N aumentó el número y la masa seca de los nódulos totales por planta, el ancho de la copa, el número de ramas primarias y la masa fresca de los granos por planta; con diferencias significativas respecto a los restantes tratamientos, para ambas campañas. Al combinar las cepas *Rhizobium pusense* R3 y *Bacillus thuringiensis* B3, con la dosis de nitrógeno seleccionada

anteriormente y diferentes niveles de fertilización fosfórica, se obtuvieron resultados superiores que al utilizar el fertilizante en la dosis recomendada (testigo NPK), para ambas campañas. Se destacó el tratamiento donde los microorganismos se aplicaron de manera conjunta con 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N + 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de P + 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de K, el cual mostró diferencias significativas con respecto a los restantes en todos los indicadores evaluados (tabla 4).

El tratamiento constituido por la combinación de las cepas *Rhizobium pusense* R3 – *Bacillus thuringiensis* B3 con las dosis de fertilización de 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N + 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de P + 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de K, presentó, además, los mejores resultados en la calidad bromatológica de los granos, con los valores más altos en contenido de proteínas, carbohidratos, fibras y minerales como hierro, zinc, potasio y sodio.

**Tabla 2.** Actividad antagónica de posibles rizobios aislados de garbanzo frente a los patógenos *F. moniliforme*, *F. chlamydosporum* y *F. oxysporum*, a los 7 días de incubación

Aislados	Inhibición micelial (%)		
	<i>F. moniliforme</i>	<i>F. chlamydosporum</i>	<i>F. oxysporum</i>
R1	88,83 a	60,47 a	44,72 b
R2	78,06 c	50,77 b	44,43 b
R3	86,62 b	30,76 c	60,46 a
ESx	0,650	0,301	0,243

Nota: letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan, ( $p < 0,05$ ).  $n = 3$ .

**Tabla 3.** Efecto de la inoculación con *Rhizobium* *pusense* R3 y diferentes dosis de N en la nodulación, el crecimiento y los componentes del rendimiento del garbanzo cultivar Nacional-29, en condiciones de campo durante los periodos 2012-2013 y 2013-2014

Tratamientos	No. nódulos totales (u)	M. seca nódulos totales (g)	Ancho copa (cm)	No. ramas primarias (u)	M. fresca granos (g)
<b>Campaña 2012-2013</b>					
R3 + 100 kg ha <sup>-1</sup> N	9,18 c	0,86 c	43,55 b	3,65 b	41,6 c
R3 + 70 kg ha <sup>-1</sup> N	9,61 bc	0,89 c	42,80 b	3,57 b	43,15 c
R3 + 50 kg ha <sup>-1</sup> N	11,18 b	1,08 b	44,10 b	3,67 b	51,75 b
R3 + 30 kg ha <sup>-1</sup> N	13,21 a	1,29 a	<b>47,80 a</b>	<b>4,17 a</b>	<b>59,0 a</b>
ESx	0,707	0,013	1,308	0,178	2,378
<b>Campaña 2013-2014</b>					
R3 + 100 kg ha <sup>-1</sup> N	8,77 c	0,79 d	42,7 b	3,55 b	40,7 c
R3 + 70 kg ha <sup>-1</sup> N	9,90 bc	0,91 c	41,85 b	3,42 b	42,10 c
R3 + 50 kg ha <sup>-1</sup> N	10,95 b	1,10 b	43,05 b	3,57 b	51,15 b
R3 + 30 kg ha <sup>-1</sup> N	<b>13,61 a</b>	<b>1,31 a</b>	<b>46,40 a</b>	<b>4,06 a</b>	<b>57,45 a</b>
ESx	0,755	0,018	1,132	0,172	2,188

Nota: letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p < 0,05$ ).  $n = 20$ .

**Tabla 4.** Efecto de la coinoculación *Rhizobium* *pusense* R3–*Bacillus thuringiensis* B3 y diferentes dosis de P, en la nodulación, crecimiento y componentes del rendimiento del garbanzo cultivar Nacional-29, en condiciones de campo durante los periodos 2014-2015 y 2015-2016

Tratamientos	No. nódulos totales (u)	M. seca Nódulos totales (g)	Ancho copa (cm)	No. ramas primarias (u)	M. fresca granos (g)
<b>Campaña 2014-2015</b>					
Testigo NPK	1,33 d	0,10 d	39,25 c	3,10 c	44,25 c
R3 + B3	9,33 c	0,92 c	42,85 bc	2,95 c	38,3 d
R3 + B3 + 30 N + 60 P	16,23 b	1,25 b	43,35 b	4,20 b	53,9 b
R3 + B3 + 30 N+ 40 P	<b>20,04 a</b>	<b>1,81 a</b>	<b>50,15 a</b>	<b>4,70 a</b>	<b>66,0 a</b>
R3 + B3 + 30 N + 20 P	16,38 b	1,28 b	45,65 b	4,17 b	54,1 b
ESx	0,896	0,028	1,311	0,155	2,019
<b>Campaña 2015-2016</b>					
Testigo NPK	1,19 d	0,09 d	38,95 c	3,20 c	43,75 c
R3 + B3	9,0 c	0,93 c	40,5 bc	3,00 c	37,5 d
R3 + B3 + 30 N+ 60 P	15,85 b	1,28 b	43,8 b	4,35 b	52,85 b
R3 + B3 + 30 N+ 40 P	<b>19,66 a</b>	<b>1,83 a</b>	<b>50,05 a</b>	<b>4,80 a</b>	<b>65,4 a</b>
R3 + B3 +30 N+ 20 P	15,95 b	1,27 b	44,95 b	4,30 b	53,2 b
ESx	0,880	0,025	1,634	0,139	2,002

Nota: Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p < 0,05$ ).  $N = 20$ . Testigo NPK (100 kg ha<sup>-1</sup> de N + 80 kg ha<sup>-1</sup> de P2O5 + 80 kg ha<sup>-1</sup> de K2O). En los tratamientos restantes se utilizó una dosis fija de 40 kg ha<sup>-1</sup> de K.

## DISCUSIÓN

### Selección de cultivares de garbanzo por su capacidad de nodulación y productividad

Teniendo en cuenta que en estos experimentos las semillas de garbanzo no se inocularon, la aparición de nódulos en las raíces de las plantas ratificó la presencia de posibles rizobios en el suelo empleado en el ensayo (ver tabla 1), aunque estos microorganismos se encontraban en bajas concentraciones y pudiera ser que los mismos fueran poco afines a los cultivares estudiados, ya que formaron escasas estructuras de este tipo. Otros autores manifestaron que la nodulación en el garbanzo se debe a una asociación específica entre el hospedero y su microsimbionte, que sólo se logra establecer cuando en el suelo existe el rizobio afín a la planta ó este se adiciona mediante la inoculación. Otros autores han referido la no detección o ausencia de nódulos en el cultivo sin inoculación.<sup>(16)</sup> La interacción exitosa entre plantas y microorganismos depende de varios factores, entre ellos el suelo y sus características, los microorganismos inoculados y los presentes en el suelo, la planta y el ambiente, así como especificidad entre ambos simbiontes. En la masa seca de los nódulos, el cultivar Nacional-29 presentó igualmente un resultado superior al resto de los cultivares. Esta variable constituye un indicativo del contenido de bacteroides dentro del nódulo, por lo que mayor cantidad de estas células funcionales, debe incidir en un aporte superior de nitrógeno a la planta; lo que conduciría a un mejor crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.<sup>(17)</sup>

El mayor ancho de la copa del cultivar Nacional-29, puede relacionarse con una mayor superficie foliar, lo que generaría incrementos en la cantidad de fotosintatos y fuentes de energía para el crecimiento y la simbiosis. Este indicador se incluye dentro de las características que posibilitan a las plantas tolerar diferentes tipos de estrés, lo que distinguiría positivamente al cultivar Nacional-29 ante condiciones adversas.

Resultados similares en el número de vainas se alcanzaron al estudiar cultivares cubanos sobre un suelo Pardo Grisáceo mullido de la provincia Gramma en condiciones de estrés hídrico; con una mayor producción de legumbres en el cultivar Nacional-29.<sup>(17)</sup> Anteriormente, en un suelo Ferralítico Amarillo, se informó igualmente el mayor número de vainas con el cultivar Nacional-29, aunque con valores inferiores a los de la presente investigación.<sup>(18)</sup>

En cuanto a la masa fresca del total de granos por planta, indicador importante para estimar el rendimiento, el cultivar Nacional-29 mostró una superioridad de 13,4 % en el 2006 y de 15,1 % en el 2007, con respecto al cultivar Nacional-6 que mostró los mayores resultados con relación al resto de los evaluados. Similares resultados se obtuvieron al

evaluar 11 cultivares de garbanzo en el municipio Las Tunas, en un suelo Pardo Grisáceo.<sup>(19)</sup> En los resultados obtenidos se corrobora la superioridad del cultivar Nacional-29 en cuanto a su capacidad de nodulación y variables de crecimiento y rendimiento. De igual manera resultó evidente la necesidad de buscar nuevos aislados de rizobios para mejorar la nodulación y su efecto en los rendimientos del cultivo.

### Selección por sus potencialidades como promotoras del crecimiento vegetal de bacterias procedentes de nódulos de plantas de garbanzo

La capacidad de algunos microorganismos de realizar la FBN, significa un aporte directo de este elemento a la planta, con el consiguiente beneficio a su nutrición, estimulación del crecimiento y el rendimiento; además de la contribución indirecta que representa para el suelo y cultivos sucesores.<sup>(20)</sup> De ahí la importancia desde el punto de vista agronómico de que las cepas de rizobios seleccionadas en este estudio presenten potencialidad para llevar a cabo este proceso. Estudios similares han realizado otros autores en aislados de enterobacterias de la rizosfera de maíz y durante la caracterización de rizobacterias aisladas del garbanzo. Aunque este método cualitativo permite explorar la capacidad de fijación de N por parte de los microorganismos, sería útil verificar la actividad nitrofijadora de estos aislados con otras técnicas cuantitativas como la reducción del acetileno (ARA) o mediante marcaje con 15N.<sup>(21)</sup>

La estimación de la actividad solubilizadora de fósforo constituye una herramienta para la selección de aislados promisorios para la biofertilización, teniendo en cuenta que este mecanismo les permite a los microorganismos aportar entre el 20 % y el 40 % de las necesidades de fósforo de los cultivos.<sup>(22)</sup> La capacidad de los rizobios para solubilizar fosfatos se ha discutido en diversos trabajos, donde se destaca el género *Mesorhizobium* como uno de los que más solubiliza este elemento. Otros autores demostraron que cepas de *Rhizobium*, aisladas del cultivo del arroz, poseían capacidad de solubilizar fosfatos, con índices de solubilización entre 1,28 y 1,63; inferiores a los obtenidos en el presente trabajo.<sup>(23)</sup>

Dentro de los mecanismos que utilizan las bacterias para solubilizar fosfatos se incluyen la secreción de ácidos y la producción de enzimas.<sup>(24)</sup> En los rizobios se describe una disminución del pH del medio extracelular hasta valores aproximados a 2, producto de la liberación de ácidos orgánicos como el ácido 2-cetoglucónico.<sup>(25)</sup> Estos compuestos de bajo peso molecular tienen propiedades quelantes que favorecen la formación de complejos insolubles con metales, con la consecuente liberación del fosfato y el aumento de la disponibilidad de otros nutrientes para las plantas como el fósforo, el hierro, el zinc y el manganeso.

Aunque en el estudio se evaluó la producción de compuestos indólicos, en sentido general, se plantea que el de cultivo para evaluar fijación de nitrógeno (AIA) constituye alrededor del 63 % de los compuestos indólicos que producen algunas especies del género *Rhizobium*.<sup>(26)</sup> Esta hormona favorece el enraizamiento de los cultivos, actúa como molécula de señalización en la comunicación entre la planta y el microorganismo y posibilita la penetración de los rizobios mediante el intercambio de señales bioquímicas emitidas por el microsímbionte.<sup>(27)</sup> Para el grupo de los rizobios se detalla la presencia de AIA como parte de los metabolitos que producen y se le atribuye parte del efecto estimulador del crecimiento que se obtiene mediante su aplicación.<sup>(28)</sup>

Se plantea que algunos microorganismos pueden producir AIA a partir del amonio que proviene de la FBN, por lo que pudiera existir relación entre la capacidad de fijar nitrógeno y de producir compuestos indólicos por los aislados R1, R2 y R3.<sup>(29)</sup> Ello podría tener un valor práctico una vez que sean inoculados estos microorganismos, ya que durante el proceso de FBN se potenciaría la producción de fitohormonas y, por lo tanto, los efectos beneficiosos sobre la planta, dado no solo por el suministro del nutriente, sino también por la acción hormonal.

La fusariosis vascular del garbanzo es una enfermedad que puede comprometer hasta el 40 % de las producciones en algunos países.<sup>(30)</sup> En el caso de Cuba, aunque se destacan como las enfermedades más importantes asociadas a esta especie vegetal, las causadas por hongos como *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina*, las infecciones provocadas por *Fusarium* spp., principalmente por la especie *F. oxysporum* se consideran de interés por los daños que producen y por la frecuencia con que se presentan, de ahí que resulte importante su control.

Se evidenció que los 3 aislados presentaron mecanismos directos de estimulación del crecimiento vegetal, no obstante, se destaca el aislado R3 por sus potencialidades en cuanto a la FBN, la capacidad de solubilizar fosfatos de calcio y de liberar compuestos indólicos al medio de cultivo, así como por la actividad antagonista frente a patógenos del género *Fusarium*. Estas evidencias pueden favorecer su aplicación en el cultivo del garbanzo. Se informa por primera vez en Cuba la presencia de *Rhizobium pusense* asociado a cultivares nacionales de garbanzo y se demuestra sus potencialidades como bacterias promotoras del crecimiento vegetal.

### **Efecto de la biofertilización en la nodulación, el crecimiento, componentes del rendimiento y la reducción de fertilizantes, en el cultivo del garbanzo**

Los resultados indican que con la inoculación de la cepa R3 en la variedad de garbanzo Nacional-29, sería posible sus-

tituir hasta el 70 % del fertilizante nitrogenado, sin afectar el crecimiento y los componentes del rendimiento del cultivo. La capacidad de este aislado de fijar el N atmosférico pudiera sustentar este resultado.

Se evidenció también que al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada disminuyó el número de nódulos y su masa seca. Se conoce que el uso de altas concentraciones de nitrógeno inhibe la formación y funcionamiento de los nódulos.<sup>(31)</sup> Algo similar se informó al inocular *M. cicerii* en garbanzo.<sup>(32)</sup> Ello se debe a que la simbiosis es un proceso biológico energéticamente costoso, razón por la cual, ante la presencia de N asimilable en el suelo, la planta lo toma directamente y no se asocia a estos microorganismos.

Estudios realizados por otros autores también mostraron en el cultivo del frijol común que la inoculación de una cepa de *R. leguminosarum* logró sustituir el 70 % del fertilizante nitrogenado.<sup>(33)</sup> Por su parte, en garbanzo lograron reducir el 30 % del N aplicado con la inoculación de *M. cicerii* INIFAT GR-1, lo que confirma los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la mayor efectividad de la cepa R3 de *Rhizobium pusense*. Otros autores, sin embargo, recomiendan utilizar altas dosis de fertilización nitrogenada en el cultivo del garbanzo (90, 120 y 150) kg ha<sup>-1</sup>, con el fin de incrementar los rendimientos. Sin embargo, estos trabajos no tuvieron en cuenta la inoculación ni sus aportes.<sup>(34,35)</sup>

El proceso de fijación biológica de nitrógeno es altamente sensible a la carencia de fósforo, elemento que forma parte de las moléculas de ATP, responsables de la liberación e intercambio de la energía. Además, cuando las concentraciones de fósforo en las plantas son inferiores a 0,2 %, la nodulación y la FBN disminuyen, y por debajo de 0,1 % no ocurre la formación de nódulos. El fósforo también es requerido para la formación de los tejidos nodulares y para los procesos de reconocimiento o intercambio de señales entre la planta y el rizobio.<sup>(36)</sup> Una mayor disponibilidad de fósforo estimula además el crecimiento y desarrollo de las raíces, como sitios de infección para las bacterias inoculadas o residentes. La inoculación con *Bacillus* sp. favorece el desarrollo de plantas de maíz (*Zea mays* L.) al mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y contribuir a una mayor salud y rendimiento del cultivo, por lo que la cepa B3 pudo originar una mayor cantidad de sitios de infección en la raíz del garbanzo, que pudieron ser aprovechados por *Rhizobium* sp. R3 para la formación de una mayor cantidad de nódulos en las plantas que se originaron de las semillas inoculadas.<sup>(37)</sup>

El bajo suministro de P a las leguminosas de grano disminuye significativamente el crecimiento de la biomasa aérea y afecta el aérea foliar dedicada a la fotosíntesis, lo que provoca

una disminución en la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado y en el número total de carbohidratos producidos. La baja disponibilidad de este elemento retarda el crecimiento y la madurez de los granos en el garbanzo. <sup>(38)</sup> Los resultados aquí obtenidos avalan el efecto estimulador que puede ejercer la coinoculación en la estimulación del crecimiento, sobre todo si se combina con dosis apropiadas de fertilizantes.

Varios trabajos emplean dosis reducidas de fertilizantes y la combinación de microorganismos para mejorar la respuesta productiva del garbanzo. La inoculación de consorcios microbianos posibilita una mayor colonización y formación de nódulos efectivos para la fijación biológica del nitrógeno y, además, les confiere mayor tolerancia a las plantas frente a las condiciones de estrés. <sup>(39)</sup> Esto se debe a que algunos microorganismos interactúan de manera sinérgica y estimulan múltiples mecanismos relacionados con la nutrición y el metabolismo de las plantas. Para el caso del garbanzo existen antecedentes de la aplicación combinada de microorganismos. La coinoculación de *Pseudomonas fluorescens*, *A. chroococcum* y *B. megaterium* obtuvo mejores resultados en la germinación, la absorción de nutrientes, la altura de las plantas, el número de ramas, la nodulación, la biomasa total y el rendimiento del cultivo. La aplicación de *M. ciceri*, *Trichoderma harzianum* y *B. subtilis*, incrementó el rendimiento del grano de la variedad Blanoro, en comparación con la fertilización nitrogenada y la inoculación simple de *M. ciceri*. <sup>(40)</sup>

Los resultados del presente trabajo evidenciaron la posibilidad de utilizar dosis bajas de N, P y K, cuando se aplican bacterias estimuladoras del crecimiento vegetal, y de incrementar los rendimientos obtenidos por la fertilización completa, con ahorros de al menos el 70 % de N y el 50 % de P y K.

## Conclusiones

Teniendo en cuenta que el cultivar de garbanzo Nacional-29 destaca por sus resultados superiores de nodulación, crecimiento y componentes del rendimiento, así como que *Rhizobium pusense* R3 constituye un endófito de dicho cultivar y presenta atributos que estimulan el crecimiento vegetal como la capacidad de fijar nitrógeno, solubilizar fosfato de calcio, producir compuestos indólicos e inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos, se propone el manejo combinado de *Rhizobium pusense* R3, *Bacillus thuringiensis* B3 y dosis de fertilización de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N + 40 kg ha<sup>-1</sup> de P + 40 kg ha<sup>-1</sup> de K, para incrementar el rendimiento y la calidad bromatológica de los granos del garbanzo, a la vez que se ahorra el 70 % del fertilizante nitrogenado y el 50 % del P y el K que se aplica al cultivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Echevarría A, Wong FJ, Borboa J, Rodríguez F, Del Toro CL, García JL, Rueda-Puente EO. Sistemas de fertilización en garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en suelos de zonas aridas-desértica. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 2021;24(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.56369/taaes.3485>
- Apáez-Barrios M, Escalante M, Apáez J, Álvarez J. Producción, crecimiento y calidad nutrimental del garbanzo en función del nitrógeno y fósforo. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas. 2020;11(6):1273-84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2226>
- Hidalgo M, Rodríguez V, Porras O. Una mirada actualizada de los beneficios fisiológicos derivados del consumo de legumbres. Revista Chilena de Nutrición. 2018;45(1):32-44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000200032>
- Vargas-Blandino D, Cárdenas-Travieso RM. Cultivo del garbanzo, una posible solución frente al cambio climático. Revista Cultivos Tropicales. 2021;42(1):e09. Disponible en: <https://doi.org/10.1234/ct.v42i1.1583>
- Ortega García M, Nápoles García MC, Dibut Álvarez B, Ríos Rocafull Y. Tolerancia de rizobios procedentes de nódulos de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) frente a factores abióticos. Revista AGRISOST. 2023<sup>a</sup>;29:1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8321988>
- Chávez-Díaz IF, Zelaya LX, Cruz CI, Rojas E, Ruiz S, de los Santos S. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas. 2020;11(6):1423-36. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Rosabal L, Macías P, Maza M, López R, Guevara F. Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. Magna Scientia Uceva. 2021;1:1:104-17. Disponible en: <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Ortega García M, Shagarodsky Scull T, Ríos Rocafull Y, Dibut Álvarez B, Saes Tonaca L. Respuesta agronómica de variedades de *Cicer arietinum L.* en baja fertilidad. Revista RIVAR (Santiago). 2022;9(27). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.35588/rivar.v9i27.5674>
- Shagarodsky T, Veitia M, Cabrera M. Manual para el manejo y producción sostenible del cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en Cuba. Editorial Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical Alejandro de Humboldt. 2021.
- Ortega García M, Ríos Rocafull Y, Dibut Álvarez B, Nápoles García MC. Aislamiento y caracterización de cepas de rizobios procedentes de cultivares de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) Revista Cultivos Tropicales. 2024<sup>a</sup>;45(2). Disponible en: <https://cu-id.com/2050/v45n2e05>
- Madigan MT, Martiniko JM y Parker J. Brock Biology of Microorganisms. 15th Ed. Pearson, New York, USA, 1064. 2019. ISBN: 9781292235103.
- Rasheed M, Naseer T, Hassan A, Hassan F, Hayat R, Jilani G, Va-seer SG, Ali MB. Isolation of nodule associated bacteria for promotion of lentil growth. Pakistan Journal of Agricultural Research. 2020;33(1):170-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.1.170.179>
- Ortega García M, Ríos Rocafull Y, Zelaya Molina LX, Zaldívar López H, Chávez Díaz IF. Bioprospecting a Mountain-Derived

- Phosphorus-Solubilizing Bacterium: The Role of *Bacillus thuringiensis* B3 as a Plant-Growth Promoter in Lettuce and Tomato Horticultural Crops. Revista Scientia Horticulture. 2024;337. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113568>
14. STATGRAPHICS. Plus versión 5.0 Online Manual, 2000. Disponible en: [www.statgraphics.com](http://www.statgraphics.com)
15. Aldonate ML, Jiménez PE. Caracterización de rizobacterias nativas y su efecto en la promoción de crecimiento de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en condiciones controladas. Revista Agronómica del Noroeste Argentino. 2019;39(2):89-98. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/330165629>
16. Fernández Canigia MV. Factores determinantes de la nodulación (ed. ampliada). Engormix. 2020. Disponible en: [https://images.engormix.com/externalFiles/6\\_factores\\_determinantes\\_de\\_la\\_nodulacion.pdf](https://images.engormix.com/externalFiles/6_factores_determinantes_de_la_nodulacion.pdf)
17. Meriño Y, Boicet T, Boudet A, Cedeño A. Respuesta agronómica de dos cultivares de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) bajo diferentes condiciones de humedad del suelo en la provincia de Granma. Revista Centro Agrícola. 2017;44(2):22-8. Disponible en: [https://scielo.sld.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852017000200003&lng=es&tlang=es](https://scielo.sld.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000200003&lng=es&tlang=es)
18. Delgado MA, Pino R e Izquierdo VE. Evaluación del comportamiento del garbanzo (*C. arietinum L.*) variedad Nacional-29 en condiciones de suelo arenoso. Revista Avances. 2000;2(2):5. ISSN 1562- 3297.
19. Ruz F, Thompson Z. Evaluación agroproductiva de 11 cultivares de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en un suelo pardo grisáceo del municipio Las Tunas. Centro Agrícola. 2013;40(2):51-6. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001. CE: 43, 12 CF: cag102131915.
20. Ortega García M, Ríos Rocafull Y, Zelaya Molina LX, Lara Aguilera J, Arteaga Garibay R, Nápoles García MC. Identificación de rizobios promotores del crecimiento vegetal asociados a garbanzo (*Cicer arietinum L.*). Revista Agronomía Mesoamericana. 2023b;34(2):50929. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.50929>
21. Amaro EJ. Evaluación del balance de nitrógeno en suelos cultivados con garbanzo (*Cicer arietinum L.*). Avances. 2012;14(3):48
22. Abbasi MK, Musa N, Manzoor M. Phosphorus release capacity of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on plant growth promotion and P utilization efficiency of chilli (*Capsicum annuum L.*). Biogeosci. Discuss. 2015;(12):1839-73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5194/bgd-12-1839-2015>
23. Hernández Forte I, Nápoles García MC, Maqueira López LA, Battistoni Urrutia. Contribución al conocimiento de la interacción Rhizobium-arroz (*Oryza sativa L.*). Oportunidades para la biofertilización del cultivo. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba. 2023;13(2):e1329. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1329>
24. Kalay G. Phosphate Solubilizing Microorganism: Promising Approach as Biofertilizers. International Journal of Agronom. 2019;1(1):1-7. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.1979.tb00830.X](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.1979.tb00830.x)
25. Alemneh AA, Zhou Y, Ryder MH, Denton MD, Denton M, Zhou Y. Mechanisms in plant growth-promoting rhizobacteria that enhance legume-rhizobial symbioses. J. Appl. Microbiol. 2020;129:1133-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jam.14754>
26. Chandra S, Askari K, Kumari M. Optimization of indole acetic acid production by isolated bacteria from *Stevia rebaudiana* rhizosphere and its effects on plant growth. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2018;16(2):581-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.09.001>
27. Nápoles MC, Cabrera JC, Wegria G, Onderwater R, Wattiez R, Hernández I, Costales, D Rossi AA, Luisina G. Inducción de señales en la interacción *Mesorhizobium cicerii* - *Cicer arietinum L.* Cultivos Tropicales. 2018;39(2):101-7. Disponible en: [https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000200014&lng=es&tlang=es](https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200014&lng=es&tlang=es)
28. Ortega García M, Ríos Rocafull Y, Zelaya Molina LX, Lara Aguilera J, Arteaga Garibay R, Nápoles-García MC. *Rhizobium pusense* asociado al garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en Cuba. Revista Agro-nomía Mesoamericana. 2024;35:55876. Disponible en: Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.2024.55876>
29. Yousef MH. Capability of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for producing indole acetic acid (IAA) under extreme conditions. Eur. J. Biol. Res. 2018;8(4):174-82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo1412796.228>
30. Oliva-Ortiz LC, Velázquez-Alcaraz TJ, Sosa-Pérez R, Partida-Ruvalcaba L, Díaz-Valdés T, Arciniega-Ramos L, López-Orona CA. Control de la fusariosis vascular del garbanzo (*Cicer arietinum L.*) por microorganismos nativos de Sinaloa, México. Agrociencia. 2017;51(6):683-95. ISSN: 1405-3195, versión en línea ISSN: 2521-9766.
31. Singha B, Mazumder PB, Pandey P. Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobia from Root Nodule of Two Legume Species Cultivated in Assam, India. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 2017;88(3):1007-16. ISSN: 2250-1746. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40011-016-0836-6>
32. Verma JP, Yadav J, Tiwari KN. Effect of *Mesorhizobium ciceri* and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Nodulation and Yields of Chickpea. In India, Biological Forum International Journal. 2009;1(2):11-4.
33. Martínez L, Maqueira L, Nápoles MC, Núñez M. Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) biofertilizados. Cultivos Tropicales. 2017;38(2):113-8. ISSN: 0258-5936, versión en línea ISSN: 1810-4087.
34. Ahlawat PS, Gangaiah B, Zahid A. Nutrition Management in Chickpea Chapter 10 In: S. S. Yadav RJ. Redden W. Chen and B. Sharma (eds.). Chickpea Breeding and Management. CAB International. 2007;213-222.6. Disponible en: <https://www.cabdigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845932138.000book/10.1079/9781845932138.000>
35. Marsh DB. Mineral Nutrition of Cowpea: Macronutrients. En Cowpea Research a U.S. Perspective. Editado por Miller JC, JP Miller, RL Fery. Proceeding of the Second Southernpea (Cowpea) Workshop. 1990;32-40.
36. Wu D, Wang W, Yao Y, Li H, Wang Q, Niu B. Microbial interactions within beneficial consortia promote soil health. Sci. Total Environ. 900. 2023:e165801. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165801>
37. DE Oliveira-Paiva CA, Bini D, de Sousa SM, Ribeiro VP, dos Santos FC, de Paula Lana UG, de Souza FF, Gomes EA, Marriel IE. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield

- in Brazil. Front. Microbiol. 2024;15. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>
38. Echevarría A, Triana A, Rivero D, Rodríguez A, Martínez B. Generalidades del cultivo del garbanzo y alternativas biológicas para el control de la Marchitez. Revista Cultivos Tropicales. 2019;40(4). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258\\*59362019000400010&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258*59362019000400010&lng=es&tlng=en)
39. Luo D, Shi J, Li M, Chen J, Wang T, Zhang Q, Yang L, Zhu N, Wang Y. Consortium of Phosphorus-Solubilizing Bacteria Promotes Maize Growth and Changes the Microbial Community Composition of Rhizosphere Soil. Agronomy. 2024;14:1535. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071535>
40. Ávila Miramontes JA, Padilla G, Martínez D, Rivas FJ, Coronado MÁ, Ortega P. Respuesta de algunos componentes del rendimiento del cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) a la inoculación de *M. ciceri*, *Trichoderma harzianum* y *B. subtilis* en la región agrícola de la Costa de Hermosillo. Revista Biotecnia. 2015;17(3):3-8. Disponible en: [https://www.redalyc.org/articulo\\_oa?id=672971117001](https://www.redalyc.org/articulo_oa?id=672971117001)

Recibido: 18/10/2025

Aprobado: 20/11/2025

#### Agradecimientos

A José Francisco Gil Vidal, María de los Ángeles Torres Mederos, José Fresneda Buides, Grisel Tejeda González, Michely Vega León, Reinier Pérez Coipel, Marisol Morales Díaz, Alberto Hernández, Juan Lara Aguilera, Ramón Arteaga Garibay y Hugo Zaldívar López.

#### Conflictos de intereses

No existen conflictos de interés en relación con la investigación presentada.

#### Contribuciones de los autores

- Conceptualización: Marisel Ortega García
- Curación de datos: Marisel Ortega García, Tomás Shagarodsky Scull, Yoania Ríos Rocafull
- Análisis formal: Marisel Ortega García
- Adquisición de fondos: Marisel Ortega García

- Investigación: Marisel Ortega García, Tomás Shagarodsky Scull, Bernardo Dibut Álvarez, Yoania Ríos Rocafull, Lily X Zelaya Molina, Ismael Fernando Chávez Díaz
- Metodología: María Caridad Nápoles García
- Administración del proyecto: Marisel Ortega García
- Recursos: Marisel Ortega García, Lily X Zelaya Molina, Ismael Fernando Chávez Díaz
- Supervisión: María Caridad Nápoles García
- Validación: Marisel Ortega García, Tomás Shagarodsky Scull
- Visualización: Marisel Ortega García, María Caridad Nápoles García, Lily X Zelaya Molina, Ismael Fernando Chávez Díaz.
- Redacción-borrador original: Marisel Ortega García
- Redacción-revisión y edición: Marisel Ortega García; María Caridad Nápoles García

#### Financiamientos

La investigación fue financiada por el proyecto "Estudio de la diversidad de rizobios asociados a legumbres para la adaptación al cambio climático en agroecosistemas de Cuba", programa "Uso sostenible de los componentes de la Diversidad Biológica en Cuba" 2017-2019 y por estancias de investigación en el Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG), Tepatlán de Morelos, México, amparadas por un Convenio Marco de Cooperación entre ambas entidades.

#### Cómo citar este artículo

Ortega García M, Shagarodsky Scull T, Dibut Álvarez B, Ríos Rocafull Y, Nápoles García MC, Zelaya Molina LX, Chávez Díaz IF. Aportes al conocimiento en la biofertilización del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Cuba. *An Acad Cienc Cuba* [Internet] 2025 [citado en día, mes y año];15(3):e3197. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/3197>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial). © Los autores, 2025.

